

PCT

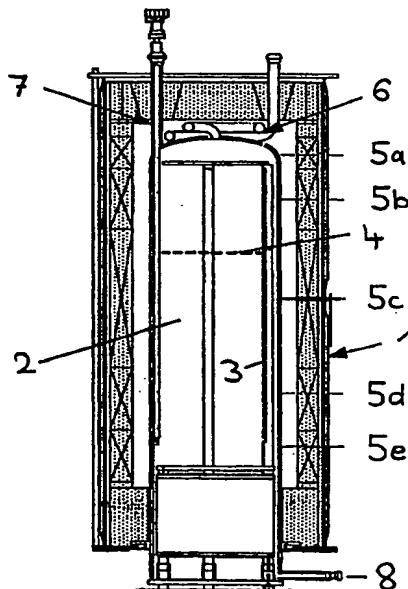
WELTOrganisation FÜR GEISTIGES EIGENTUM

Internationales Büro



INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICH NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation <sup>7</sup> : <b>H01L 21/00, C30B 31/06, C23C 16/46</b>		A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: <b>WO 00/39840</b>  (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: <b>6. Juli 2000 (06.07.00)</b>
(21) Internationales Aktenzeichen: <b>PCT/DE99/04035</b>  (22) Internationales Anmelde datum: <b>16. Dezember 1999 (16.12.99)</b>		(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).	
(30) Prioritätsdaten: 198 58 351.6 17. Dezember 1998 (17.12.98) DE 199 54 021.7 10. November 1999 (10.11.99) DE		Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>	
(71) Anmelder ( <i>für alle Bestimmungsstaaten ausser US</i> ): FRAUNHOFER GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leonrodstrasse 54, D-80636 München (DE).			
(72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder ( <i>nur für US</i> ): BONESS, Henning [DE/DE]; Ginsterweg 10, D-25524 Itzehoe (DE). PRESS, Patrick [DE/DE]; Holtenauer Strasse 42, D-24105 Kiel (DE).			
(74) Anwalt: GAGEL, Roland; Landsberger Strasse 480a, D-81241 München (DE).			
<b>(54) Title:</b> METHOD FOR BORON DOPING WAFERS USING A VERTICAL OVEN SYSTEM			
<b>(54) Bezeichnung:</b> VERFAHREN ZUR BOR-DOTIERUNG VON WAFERN UNTER EINSATZ EINES VERTIKALOFSYSTEMS			
<b>(57) Abstract</b>			
<p>The invention relates to a method for boron doping wafers using a vertical oven system. The vertical oven system (1) that is used comprises a reaction chamber (2) which vertically extends from a top end to a bottom end and which has a plurality of temperature zones (5a – 5e) that can be heated independently of one another. An upper temperature zone (5a) is provided at a gas inlet (6) for a reactive gas containing boron. The other zones (5b – 5e) extending down to the bottom end of the reaction chamber (2) are connected to said upper zone. According to the inventive method, the reactive gas containing boron is fed over the wafers (4) located in the reaction chamber. The boron subsequently diffuses into the wafer surface from the boron layer which is deposited on the wafers as a result of the feeding of reactive gas. The inventive method provides that the temperature of the other zones (5b – 5e) is adjusted such that, extending down to the bottom end of the reaction chamber (2), an increase in temperature is maintained over the other zones during deposition and a decrease in temperature is maintained during diffusion over the other zones.</p>			
<b>(57) Zusammenfassung</b>			
<p>Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bor-Dotierung von Wafern unter Einsatz eines Vertikalofensystems. Das eingesetzte Vertikalofensystem (1) weist einen sich von einem oberen Ende zu einem unteren Ende vertikal erstreckenden Reaktionsraum (2) mit mehreren unabhängig voneinander heizbaren Temperaturzonen (5a – 5e) auf. Eine obere Temperaturzone (5a) ist an einem Gaseinlass (6) für ein borhaltiges Reaktivgas vorgesehen. Die weiteren Zonen (5b – 5e) schließen sich bis zum unteren Ende des Reaktionsraumes (2) an die obere Zone an. Bei dem Verfahren wird das borhaltige Reaktivgas über im Reaktionsraum befindliche Wafer (4) geleitet. Aus der dadurch auf den Wafern abgeschiedenen Borschicht diffundiert das Bor anschließend in die Waferoberfläche. Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird die Temperatur der weiteren Zonen (5b – 5e) so eingestellt, dass während der Abscheidung über den weiteren Zonen ein Temperaturanstieg und während der Diffusion über den weiteren Zonen ein Temperaturabfall zum unteren Ende des Reaktionsraumes (2) hin aufrechterhalten werden.</p>			



***LEDIGLICH ZUR INFORMATION***

**Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.**

<b>AL</b>	Albanien	<b>ES</b>	Spanien	<b>LS</b>	Lesotho	<b>SI</b>	Slowenien
<b>AM</b>	Armenien	<b>FI</b>	Finnland	<b>LT</b>	Litauen	<b>SK</b>	Slowakei
<b>AT</b>	Österreich	<b>FR</b>	Frankreich	<b>LU</b>	Luxemburg	<b>SN</b>	Senegal
<b>AU</b>	Australien	<b>GA</b>	Gabun	<b>LV</b>	Lettland	<b>SZ</b>	Swasiland
<b>AZ</b>	Aserbaidschan	<b>GB</b>	Vereinigtes Königreich	<b>MC</b>	Monaco	<b>TD</b>	Tschad
<b>BA</b>	Bosnien-Herzegowina	<b>GE</b>	Georgien	<b>MD</b>	Republik Moldau	<b>TG</b>	Togo
<b>BB</b>	Barbados	<b>GH</b>	Ghana	<b>MG</b>	Madagaskar	<b>TJ</b>	Tadschikistan
<b>BE</b>	Belgien	<b>GN</b>	Guinea	<b>MK</b>	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	<b>TM</b>	Turkmenistan
<b>BF</b>	Burkina Faso	<b>GR</b>	Griechenland	<b>ML</b>	Mali	<b>TR</b>	Türkei
<b>BG</b>	Bulgarien	<b>HU</b>	Ungarn	<b>MN</b>	Mongolei	<b>TT</b>	Trinidad und Tobago
<b>BJ</b>	Benin	<b>IE</b>	Irland	<b>MR</b>	Mauretanien	<b>UA</b>	Ukraine
<b>BR</b>	Brasiliens	<b>IL</b>	Israel	<b>MW</b>	Malawi	<b>UG</b>	Uganda
<b>BY</b>	Belarus	<b>IS</b>	Island	<b>MX</b>	Mexiko	<b>US</b>	Vereinigte Staaten von Amerika
<b>CA</b>	Kanada	<b>IT</b>	Italien	<b>NE</b>	Niger	<b>UZ</b>	Usbekistan
<b>CF</b>	Zentralafrikanische Republik	<b>JP</b>	Japan	<b>NL</b>	Niederlande	<b>VN</b>	Vietnam
<b>CG</b>	Kongo	<b>KE</b>	Kenia	<b>NO</b>	Norwegen	<b>YU</b>	Jugoslawien
<b>CH</b>	Schweiz	<b>KG</b>	Kirgisistan	<b>NZ</b>	Neuseeland	<b>ZW</b>	Zimbabwe
<b>CI</b>	Côte d'Ivoire	<b>KP</b>	Demokratische Volksrepublik Korea	<b>PL</b>	Polen		
<b>CM</b>	Kamerun	<b>KR</b>	Republik Korea	<b>PT</b>	Portugal		
<b>CN</b>	China	<b>KZ</b>	Kasachstan	<b>RO</b>	Rumänien		
<b>CU</b>	Kuba	<b>LC</b>	St. Lucia	<b>RU</b>	Russische Föderation		
<b>CZ</b>	Tschechische Republik	<b>LI</b>	Liechtenstein	<b>SD</b>	Sudan		
<b>DE</b>	Deutschland	<b>LK</b>	Sri Lanka	<b>SE</b>	Schweden		
<b>DK</b>	Dänemark	<b>LR</b>	Liberia	<b>SG</b>	Singapur		
<b>EE</b>	Estland						

Verfahren zur Bor-Dotierung von Wafern unter Einsatz eines Vertikalofensystems

**Technisches Gebiet**

5        Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bor-Dotierung von Wafern unter Einsatz eines Vertikalofensystems. Die Bor-Dotierung von Wafern, insbesondere Siliziumwafern, spielt in der Halbleitertechnik eine große Rolle. Das vorliegende Verfahren kann hier-  
10      bei insbesondere bei der Fertigung von Halbleiterprodukten wie Power MOSFETs in DMOS-Technologie oder Bipolartransistoren eingesetzt werden.

**Stand der Technik**

15       Für die Bor-Dotierung von Siliziumwafern sind bislang zwei unterschiedliche Techniken technisch relevant. Eine Technik betrifft die direkte Implantation von Bor in die Siliziumwafer, die andere Technik setzt  
20      Quellschichten zur Diffusion des Bors in die Siliziumwafer ein.

25       Das erstgenannte Verfahren der Implantation von Bor, bei dem Bor-Ionen beschleunigt werden und mit hoher Geschwindigkeit auf die Siliziumwafer auftreffen, verursacht jedoch aufgrund der bei bestimmten Anwendungen erforderlichen hohen Implantationsdosis sehr hohe Prozesskosten. Weiterhin lässt sich dieses Verfahren nur als Einzelwaferprozess durchführen, wodurch sich  
30      der Zeitaufwand und somit wiederum die Prozesskosten

- 2 -

erhöhen. Ein weiterer Nachteil dieser Technik besteht darin, dass das durch Implantation erzeugte Profil der Borkonzentration im Siliziumwafer nicht kastenförmig sondern gaußförmig ist. Soll mit dieser Technik ein

- 5 Erfc-Profil erreicht werden, so erfordert dies eine zweite Implantation. Gerade kastenförmige Dotierungsprofile werden jedoch für die oben genannten Power MOSFETs und Bipolartransistoren benötigt.

- 10 Für die Herstellung derartiger Dotierungsprofile zu vertretbaren Kosten, wird daher in der Regel das zweitgenannte Dotierungsverfahren unter Benutzung von Quellschichten eingesetzt. Bei diesem Verfahren erfolgt die Bor-Dotierung aus einer aus dem Wafer abgeschiedenen Festkörperschicht. Das Dotierungsverfahren erfordert einen zweistufigen Prozess. In einer ersten Stufe wird eine dünne, hochkonzentrierte Bor-Schicht durch Niedertemperatur-Abscheidung auf der Waferoberfläche erzeugt. Aus dieser dünnen Bor-Schicht diffundiert das  
15 Bor in einer zweiten Stufe durch einen Hochtemperatur-Diffusionsprozess in die Oberfläche der Wafer bis zur gewünschten Tiefe ein.
- 20

- Durch die ständig steigende Größe der Wafer und  
25 das Erfordernis, eine möglichst große Anzahl von Wafern in einem Prozessdurchlauf zu dotieren, tritt die Problematik der Gleichförmigkeit der erzeugten Dotierung und der Reproduzierbarkeit dieser Dotierung zwischen einzelnen Prozessdurchläufen in den Vordergrund. So  
30 muss einerseits gewährleistet werden, dass das gewünschte Dotierungsprofil auf dem einzelnen Wafer möglichst gleichförmig ausgebildet ist, zum anderen muss die Abweichung im Dotierungsprofil bzw. der Dotierungs-

konzentration zwischen einzelnen Wafern eines Prozessdurchlaufes wie auch zwischen Wafern unterschiedlicher Prozessdurchläufe vernachlässigbar klein sein.

5       Eine Verfahrensvariante zur Bor-Dotierung von Siliziumwafern aus einer Festkörperschicht setzt Bor-Nitridwafer als Bor-Quelle zur Erzeugung der Quellschicht auf den Siliziumwafern ein. Ein derartiges Verfahren ist beispielsweise aus J. Monkowski et al., Solid State Technology, November 1976, Seiten 38 bis 42 bekannt. Bei diesem Verfahren wird ein Horizontalofensystem eingesetzt, bei dem die einzelnen Wafer im so genannten Quarzboot hintereinander aufgestellt sind. Die Bor-Nitridwafer sind hierbei zwischen den einzelnen

10      Siliziumwafern angeordnet.

15

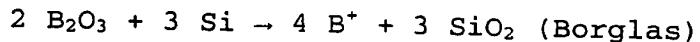
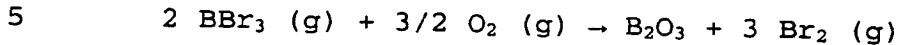
Dieses Verfahren hat jedoch den Nachteil, dass sich durch die notwendige Anordnung der Bor-Nitridwafer die Ofenkapazität für die eigentlich zu dotierenden Siliziumwafer um 50% reduziert. Weiterhin besteht die Gefahr, dass die Quarzware der Prozesskammer durch Verkleben der Bor-Nitridwafer mit dem Quarzboot verunreinigt bzw. beschädigt wird. Ein weiterer Nachteil besteht in der aufwendigen Lagerung und Konditionierung der Bor-Nitridwafer, die zudem einen hohen Preis und

20      25     nur eine begrenzte Haltbarkeit haben.

Ein weiteres Verfahren zur Bor-Dotierung von Siliziumwafern aus einer Festkörperschicht ist aus P.C. Parikh et al., Proceedings of the IEEE, Vol. 57, Number 9, September 1969, Seiten 1507 bis 1512 bekannt. Bei diesem Verfahren wird flüssiges  $BBr_3$  (Bortribromid) als Quelle eingesetzt. Hierzu werden Sauerstoff und  $BBr_3$  zusammen mit Stickstoff als Transportgas in den Reakti-

- 4 -

onsraum mit den Wafern eingeleitet. Im Reaktionsraum bildet  $\text{BBr}_3$  mit dem Sauerstoff das so genannte Reaktivgas, das folgendermaßen reagiert:



Das Borglas wird hierdurch auf der Oberfläche der  
10 Wafer abgeschieden. Das so entstandene Borglas dient  
als Quellschicht, aus der während der nachfolgenden  
Diffusionsphase (Drive-In) Bor in das darunter befind-  
liche Wafersubstrat diffundiert. Bei diesem Verfahren  
wurde ein Horizontalofensystem mit einer ausgedehnten  
15 Zone konstanter Temperatur eingesetzt. Die Abscheidung  
des Borglasses erfolgte bei einer Temperatur im Bereich  
zwischen 860 und 950°C, die Diffusion bei 1220°C. Auch  
hierbei stand das Problem der Gleichförmigkeit der Do-  
tierung im Vordergrund.

20

Ein Nachteil des dargestellten Verfahrens besteht  
darin, dass auch hier die Gleichförmigkeit der Dotie-  
rung, insbesondere über die Länge des eingesetzten Ho-  
rizontalofens, nicht eingehalten werden konnte.

25

Weiterhin lassen sich bei Einsatz eines Horizo-  
ntalofensystems nicht ohne weiteres größere Waferdurch-  
messer prozessieren. So werden derzeit maximal Wafer-  
durchmesser von 5 Zoll in Horizontalofensystemen do-  
tier. Eine Konversion von 5 auf 6 Zoll-Wafer ist auf-  
30 grund der hierfür notwendigen Änderungen der Prozess-  
spezifikationen hinsichtlich der Gleichförmigkeit der  
Dotierung auf dem Siliziumwafer nur unter erheblichem  
Aufwand möglich.

Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der Erfahrung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Bor-Dotierung von Wafern anzugeben, mit dem eine hohe  
5 Gleichförmigkeit der Dotierung erreicht werden kann, und dass ohne konstruktive Änderungen bestehender Ofensysteme einen Übergang von kleineren zu größeren Waferdurchmessern ermöglicht. Das Verfahren soll weiterhin kostengünstig durchführbar sein.

10

#### Darstellung der Erfindung

Die Aufgabe wird mit dem Verfahren nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens  
15 sind Gegenstand der Unteransprüche.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Bor-Dotierung von Wafern wird ein vertikaler Diffusionsofen eingesetzt, der einen sich von einem oberen Ende zu ei-  
20 nem unteren Ende vertikal erstreckenden Reaktionsraum mit mehreren unabhängig voneinander heizbaren Temperaturzonen aufweist. Am oberen Ende des Reaktionsraumes befindet sich ein Gaseinlass für ein borhaltiges Reaktivgas. Die einzelnen Temperaturzonen erstrecken sich  
25 nacheinander vom oberen Ende zum unteren Ende des Reaktionsraumes. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird das borhaltige Reaktivgas über die im Reaktionsraum angeordneten Wafer geleitet, um dort eine Borschicht, insbesondere Borglas, abzuscheiden. Anschließend wird  
30 das Bor aus der Borschicht in die Oberfläche der Wafer eindiffundiert. Erfindungsgemäß wird die Temperatur der unabhängig voneinander heizbaren Temperaturzonen so eingestellt, dass zwischen der sich an die oberste Tem-

- 6 -

peraturzone anschließenden Zone und der untersten Temperaturzone während der Abscheidung der Borschicht ein Temperaturanstieg und während der anschließenden Diffusion ein Temperaturabfall aufrechterhalten werden.

5

Diese weiteren Temperaturzonen erstrecken sich im Reaktionsraum des Vertikalofens über den Bereich, der mit Wafern gefüllt ist. Die oberste Zone deckt den Bereich für den Gaseinlass ab. Der Temperaturanstieg bzw. 10 Temperaturabfall zum unteren Ende des Reaktionsraumes hin wird durch stufenweise Steigerung oder Verminderung der Temperatur von Zone zu Zone herbeigeführt. Sehr gute Ergebnisse lassen sich hierbei mit einem vertikalen Diffusionsofen realisieren, der in fünf Temperaturzonen 15 unterteilt ist, wobei die mittlere Temperaturzone etwa die Hälfte der Höhe des Reaktionsraumes einnimmt. Das borhaltige Reaktivgas kann durch unterschiedliche flüssige oder gasförmige Bor-Quellen bereitgestellt werden. Beispiele hierfür sind Quellen aus  $\text{BBr}_3$ ,  $\text{BCl}_3$ , 20 oder  $\text{B}_2\text{H}_6$ .

Das erfindungsgemäße Verfahren unterscheidet sich von den einleitend genannten Verfahren einerseits durch den Einsatz eines Vertikalofens und andererseits durch 25 die Aufrechterhaltung unterschiedlicher Temperaturzonen mit unterschiedlichen Temperaturen während des Abscheide- und Diffusionsprozesses.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren unter Einsatz 30 des Vertikalofensystems gelingt der Transfer eines Bordinierungsprozesses von Silizium-Waferdurchmessern mit maximal 5 Zoll, wie beim aufgezeigten Stand der Technik, auf 6 Zoll ohne die Notwendigkeit aufwendiger Um-

- bauten am Diffusionsofen. Mit dem Verfahren lässt sich insbesondere eine gegenüber den einleitend genannten Verfahren verbesserte Gleichförmigkeit der Dotierung erzielen. Dies betrifft sowohl die Gleichmäßigkeit des
- 5 Schichtwiderstandes über den Wafer wie auch über den gesamten Reaktionsraum bzw. die Länge des eingesetzten Quarzbootes. Ebenso lassen sich die Ergebnisse von Prozessdurchlauf zu Prozessdurchlauf hervorragend reproduzieren.
- 10 Das erfindungsgemäße Verfahren vermeidet den Einsatz und den Unterhalt von teuren Bornitrid-Quellwafern. Das Verfahren ermöglicht die Dotierung eines Silizium-Substrates mit Bor einer hohen Konzentration von über  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  an der Waferoberfläche. Das
- 15 Konzentrationsprofil des Dotanten ist dabei kastenförmig und wird näherungsweise durch eine Erfc-Funktion beschrieben. Dadurch steht für die speziellen Anforderungen von Power MOS und Bipolar-Halbleiterprozessen hinsichtlich der Form des Borkonzentrationsprofils ein
- 20 stabiler und wirtschaftlicher Dotierungsprozess zur Verfügung.

Vorzugsweise werden die Temperaturen während der Abscheidung der Borschicht aus dem Temperaturbereich

25 zwischen 800°C und 950°C und während der Diffusion aus dem Temperaturbereich zwischen 1020°C und 1050°C gewählt. Ein gutes Ergebnis ergibt sich insbesondere dann, wenn die Temperatur in der obersten Zone sowohl während der Abscheidung als auch während der Diffusion

30 höher gewählt ist, als die Temperatur der jeweils sich anschließenden Temperaturzone. Diese Temperatur der obersten Temperaturzone beeinflusst die Temperatur des durch den Gaseinlass einströmenden Reaktivgases.

- 8 -

Das Reaktivgas wird vorzugsweise über eine  $\text{BBr}_3$ -Flasche ( $\text{BBr}_3$ -Bubbler) durch Vermischung mit Sauerstoff bereitgestellt.

5        Hervorragende Ergebnisse lassen sich mit dem erfundungsgemäßen Verfahren bei Einsatz eines vertikalen Diffusionsofens mit zumindest fünf Temperaturzonen erreichen, wenn während der Abscheidung der Borschicht die Temperaturen von der obersten bis zur untersten Zone auf 860°C, 845°C, 860°C, 890°C und 900°C – jeweils mit einer Genauigkeit von  $\pm 5^\circ\text{C}$  – eingestellt werden, und während der Diffusion auf 1042°C, 1037°C, 1035°C, 1027,5°C und 1025°C – jeweils mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  – eingestellt werden. Diese Temperatureinstellung ergibt eine sehr hohe Gleichförmigkeit der eingebrachten Dotierungsprofile.

Bei Einsatz einer Mischung aus Sauerstoff und  $\text{BBr}_3$  als Reaktivgas und Stickstoff als Transportgas lassen sich besonders vorteilhafte Ergebnisse – bei einem Volumen des Reaktionsraumes 50  $\pm$  5 Liter – mit Gasflüssen von 10 slm  $\pm$  0,5 slm für das Transportgas, von 0,1 slm  $\pm$  0,01 slm für den Sauerstoff und von 0,1 slm  $\pm$  0,01 slm für das  $\text{BBr}_3$  erzielen. Der Fachmann ist in der Lage diese Werte auf einen Reaktionsraum mit anderem Volumen anzupassen.

#### **Wege zur Ausführung der Erfindung**

30       Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels in Verbindung mit der Zeichnung ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens nochmals beispielhaft erläutert.

- 9 -

Die einzige Figur zeigt hierbei schematisch den Aufbau eines vertikalen Diffusionsofens 1 mit einem sich vertikal erstreckenden Reaktionsraum 2. In dem Reaktionsraum 2 befindet sich das Quarzboot 3 mit den Wafern, von denen hier zur Veranschaulichung beispielhaft nur ein Wafer 4 dargestellt ist. Am oberen Ende des Reaktionsraumes 2 befindet sich der Gaseinlass 6 für das Reaktivgas. Am unteren Ende ist ein Gasauslass 8 für die durchströmenden Gase vorgesehen. Bezugszeichen 7 bezeichnet ein 5-teiliges Thermoelement, mit dem die Temperaturen in 5 Temperaturzonen während des Prozesses erfaßt werden können. In der Figur sind diese fünf Temperaturzonen 5a bis 5e zu erkennen. Die oberste Temperaturzone 5a beeinflusst im Wesentlichen den Gaseinlass 6 für das Reaktivgas, während die weiteren Temperaturzonen 5b bis 5e den Bereich abdecken, in dem die Wafer 4 angeordnet sind. Ein derartiger Vertikalofen ist kommerziell erhältlich.

20

Im Folgenden sollen Siliziumwafer mit einem kastenförmigen Borkonzentrationsprofil und einer Oberflächenkonzentration von  $> 3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  versehen werden. Der Zielschichtwiderstand soll bei 20,5 Ohm/Square liegen. Dieser ist im Bereich von 17,5 – 23,5 Ohm/Sq einstellbar. Die Variation des Schichtwiderstandes soll hierbei über den Wafer bei maximal 2 Ohm/Sq, über das Boot bei maximal 1 Ohm/Sq und von Fahrt zu Fahrt bei maximal 1 Ohm/Sq liegen. Die Tiefe des p/n-Übergangs soll 0,9  $\mu\text{m}$  betragen.

Zum Erreichen dieser Vorgaben wird das in Figur 1 dargestellte Vertikalofensystem 1 mit den fünf unabhängig heizbaren Temperaturzonen 5a bis 5e ohne weitere

- 10 -

Modifikationen am Gaseinlass 6 oder an anderen Teilen eingesetzt. Für die Bereitstellung des Reaktivgases wird ein BBr<sub>3</sub>-Bubbler, der in der Figur nicht dargestellt ist, verwendet. Der Reaktionsraum 2 dieses Ofens 5 hat ein Volumen von ca. 50 Litern.

Zur Realisierung der Vorgaben wurden die Gasflüsse der Gase Stickstoff (N<sub>2</sub>-Carrier), Sauerstoff (O<sub>2</sub> und BBr<sub>3</sub>) sowie die Temperatur der einzelnen Heizzonen während der Deposition und der Diffusion innerhalb des 10 durch die Randbedingungen definieren Parameterraumes eingestellt.

Bei dem Prozess werden bei ca. 900°C Sauerstoff und BBr<sub>3</sub> zusammen mit Stickstoff als Transportgas in 15 den Reaktionsraum 2 geleitet. Da BBr<sub>3</sub> bei Raumtemperatur in flüssiger Form vorliegt, wird im vorliegenden Beispiel das so genannte Bubbler-Prinzip zur Einbringung der Chemikalie in den Reaktionsraum genutzt. Hierbei wird Stickstoff durch ein Quarzgefäß geleitet, das 20 mit flüssigem BBr<sub>3</sub> gefüllt ist. Der Stickstoff reißt BBr<sub>3</sub>-Flüssigkeit mit sich bis in den Reaktionsraum 2. Die Aufgabe des Transportgases ist es, im gesamten Reaktionsraum eine möglichst gleichmäßige Menge an Reaktivgasen, das heißt im vorliegenden Fall Sauerstoff und 25 BBr<sub>3</sub>, zur Verfügung zu stellen. Durch die in der Beschreibungseinleitung aufgezeigte Reaktion der beiden Gase scheidet sich Borglas als Quellschicht auf den im Reaktionsraum 2 befindlichen Wafern 4 nieder.

30 Die zum Erreichen der Vorgaben eingestellten Parameter betragen hinsichtlich des Gasflusses (gemessen in slm = Liter/Minute unter Standardbedingungen):

- 11 -

- N<sub>2</sub>-Carrier: 10 slm ± 0,5 slm
- O<sub>2</sub>: 0,1 slm ± 0,01 slm
- BBr<sub>3</sub>: 0,1 slm ± 0,01 slm.

5        Während der Deposition wurde die Temperatur der Heizzonen mit einer Genauigkeit von ± 5°C folgendermaßen eingestellt:

- 10
  - Zone 1 (5a; am Gaseinlass): 860°C
  - Zone 2 (5b): 845°C
  - Zone 3 (5c): 860°C
  - Zone 4 (5d): 890°C
  - Zone 5 (5e): 900°C

15      Die Depositionszeit betrug 45 Minuten.

Nach Abscheidung der Borglasschicht unter Beachtung der oben genannten Prozessparameter diffundiert das Bor aus dieser Schicht in Abhängigkeit von Zeit und Temperatur in das darunter befindliche Siliziumsubstrat. Je nach Zeit und Temperatur stellt sich hierbei ein bestimmtes Konzentrationsprofil ein, aus dem sich wiederum ein bestimmter Schichtwiderstandswert ergibt. Da das deponierte Borglas eine so genannte „unendliche“ Quelle darstellt, ergibt sich ein kastenförmiges Bor-konzentrationsprofil. Zur Erreichung der für dieses Beispiel herangezogenen Vorgaben, wird die Temperatur der Heizzonen während des Drive-In mit einer Genauigkeit von ± 0,5°C folgendermaßen eingestellt:

- 30
  - Zone 1 (5a; am Gaseinlass): 1042°C
  - Zone 2 (5b): 1037°C
  - Zone 3 (5c): 1035°C

- 12 -

- Zone 4 (5d): 1027,5°C
- Zone 5 (5e): 1025°C

Nach diesem Diffusionsprozess wird das Borglas von  
5 der Oberfläche der Wafer abgeätzt, so dass für die Fol-  
geprozesse ein bordotierter Siliziumwafer mit den ge-  
nannten Vorgaben zur Verfügung steht.

Bei diesem Beispiel wurden 6 Zoll Siliziumwafer  
10 eingesetzt. Das Quarzboot 3 im Reaktionsraum 2 wurde  
mit einer vollen Beladung von 125 Wafern 4 bestückt,  
von denen 3 als Testwafer dienten. Diese befanden sich  
in den Positionen 110, 65 und 11. Position 125 befindet  
sich nächstgelegen zum Gaseinlass 6. Nach Durchlaufen  
15 des Prozesses wurde das Borglas von den Testwafers mit  
Flusssäure (HF) entfernt. Anschließend wurde der  
Schichtwiderstand der Testwafer auf einem kommerziellen  
Messgerät mittels eines 4-Punkt-Messverfahrens an ins-  
gesamt 115 Positionen über den Wafer verteilt bestimmt.  
20 Es ergaben sich die folgenden Werte:

Waferposition	Schichtwiderstand [Ohm/Square]		
	Minimum	Maximum	Differenz über Wafer
110	19,2	20,5	1,4
65	19,8	20,9	1,3
11	19,7	20,7	1,0

Aus diesen Werten ergibt sich für die Gleichförmigkeit über den Wafer eine Variation des Schichtwider-  
25 standes von maximal 1,4 Ohm/Sq, für den Schichtwider-  
stand über das Boot eine Variation von maximal 0,14

Ohm/Sq. Weitere Prozessdurchläufe mit der selben Versuchsanordnung unter den gleichen Parametern ergaben eine Gleichförmigkeit des Schichtwiderstandes von Fahrt zu Fahrt von besser als 0,5 Ohm/Sq. Die Form des Bor-  
5 konzentrationsprofils sowie die erreichte Tiefe des p/n-Überganges wurden mittels der Spreading Resistance Technik auf einem kommerziellen Messgerät bestimmt. Für die Tiefe des Überganges ergab sich ein Wert von 0,9 µm. Die Oberflächenkonzentration betrug ca.  $6 \times 10^{19}$  cm-  
10<sup>3</sup> und liegt somit im geforderten Bereich. Aus diesen Messwerten ist ersichtlich, dass die Vorgaben mit dem Einsatz des erfindungsgemäßen Verfahrens hervorragend eingehalten werden konnten.

15 Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren gelingt es, innerhalb des Reaktionsraumes eine gemäß den Vorgaben gleichmäßige Abscheidung über die einzelnen Wafer sowie von Fahrt zu Fahrt zu erreichen. Das Verfahren ermöglicht die Durchführung als Batch-Prozess bei voller  
20 Ausnutzung der ofenspezifischen Beladungskapazität. Das Verfahren erfordert keine Quellwafer und kommt mit geringem Chemikalienverbrauch aus, so dass die Bordotierung sehr wirtschaftlich durchgeführt werden kann. Durch den Einsatz des Vertikalofensystems bieten sich  
25 uneingeschränkte Möglichkeiten für automatisches Handling, das heißt insbesondere für die Beladung und Entladung der Siliziumwafer mittels Roboter ohne spezielle Waferkippfähigkeiten der eingesetzten Roboter. Insgesamt kann ein kostengünstiges Verfahren bereitgestellt  
30 werden, das einen problemlosen Übergang von 5 Zoll- auf 6 Zoll-Wafer und eine sehr hohe Gleichförmigkeit und Reproduzierbarkeit des Dotierungsprofils ermöglicht.

- 14 -

Bezugszeichenliste

- 1      Vertikalofen
- 5      2      Reaktionsraum
- 3      Quarzboot
- 4      Wafer
- 5a     erste bzw. obere Heizzone
- 5b     zweite Heizzone
- 10     5c    dritte Heizzone
- 5d     vierte Heizzone
- 5e     fünfte Heizzone
- 6      Gaseinlass 1
- 7      Thermoelement
- 15     8      Gasauslass

- 15 -

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bor-Dotierung von Wafern unter Einsatz eines Vertikalofensystems (1), das einen sich von einem oberen Ende zu einem unteren Ende vertikal erstreckenden Reaktionsraum (2) mit mehreren unabhängig voneinander heizbaren Temperaturzonen (5a-e) aufweist, von denen eine obere Zone (5a) an einem Gaseinlass (6) für ein borhaltiges Reaktivgas vorgesehen ist und sich die weiteren Zonen (5b-e) bis zum unteren Ende des Reaktionsraumes anschließen,  
5 bei dem das borhaltige Reaktivgas über im Reaktionsraum (2) befindliche Wafer (4) geleitet wird, um auf den Wafern (4) eine Borschicht abzuscheiden, und anschließend Bor durch Diffusion aus der Borschicht in die Oberfläche der Wafer (4) eindringt,  
10 wobei die Temperatur der weiteren Zonen (5b-e) so eingestellt wird, dass während der Abscheidung der Borschicht über den weiteren Zonen ein Temperaturanstieg und während der Diffusion über den weiteren Zonen ein Temperaturabfall zum unteren Ende des Reaktionsraumes (2) hin aufrechterhalten werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
15 dass die Temperatur der weiteren Zonen (5b-e) während der Abscheidung der Borschicht aus dem Temperaturbereich zwischen 800°C und 950°C und während der Diffusion aus dem Temperaturbereich zwischen 1020°C und 1050°C gewählt wird.

- 16 -

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass in der oberen Zone (5a) sowohl während der Ab-  
5 scheidung als auch während der Diffusion eine höhere  
Temperatur als in der sich anschließenden (5b) der wei-  
teren Zonen eingestellt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
10 dadurch gekennzeichnet,  
dass ein Vertikalofensystem mit zumindest 5 Temperatur-  
zonen eingesetzt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4,  
15 dadurch gekennzeichnet,  
dass während der Abscheidung der Borschicht die Tempe-  
ratur der oberen Zone auf  $860^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$   
und die Temperatur der weiteren 4 Zonen (5b-e) zum un-  
teren Ende des Reaktionsraumes (2) hin auf  $845^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ,  
20  $860^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ,  $890^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  und  $900^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  eingestellt  
werden,  
und dass während der Diffusion die Temperatur der obe-  
ren Zone auf  $1042^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  und die Temperatur der wei-  
teren 4 Zonen (5b-e) zum unteren Ende des Reaktionsrau-  
mes (2) hin auf  $1037^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ,  $1035^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ,  
25  $1027,5^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  und  $1025^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  eingestellt werden.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
dadurch gekennzeichnet,  
30 dass das borhaltige Reaktivgas durch einen  $\text{BBr}_3$ -Bubbler  
bereitgestellt wird.

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Inter.	nationales Aktenzeichen
	PCT/DE 99/04035

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
EP 0538874 A	28-04-1993	JP 6089867 A DE 69228787 D JP 7245298 A KR 9700193 B US 5445676 A US 5387557 A		29-03-1994 06-05-1999 19-09-1995 06-01-1997 29-08-1995 07-02-1995
US 5217560 A	08-06-1993	JP 4264715 A KR 167571 B		21-09-1992 01-02-1999
EP 0438677 A	31-07-1991	JP 2928930 B JP 3178126 A CA 2031418 A KR 166587 B US 5199994 A		03-08-1999 02-08-1991 07-06-1991 01-02-1999 06-04-1993
EP 0736614 A	09-10-1996	JP 9017739 A JP 8330245 A		17-01-1997 13-12-1996

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
**PCT/DE 99/04035**

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 217 560 A (KURONO YOICHI ET AL) 8. Juni 1993 (1993-06-08) Ansprüche; Abbildungen 1,5 Spalte 2, Zeile 6 - Zeile 51 ----	1-5
A	EP 0 438 677 A (SEIKO INSTR INC) 31. Juli 1991 (1991-07-31) Zusammenfassung; Abbildungen 1,3 Spalte 3, Zeile 28 - Spalte 6, Zeile 57 ----	1,2,5-7
A	EP 0 736 614 A (F T L CO LTD). 9. Oktober 1996 (1996-10-09) Abbildungen 1-10 Spalte 8, Zeile 33 - Spalte 10, Zeile 39 ----	1-5

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Int. nationales Aktenzeichen  
PCT/DE 99/04035

<b>A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES</b> IPK 7 H01L21/00 C30B31/06 C23C16/46		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK		
<b>B. RECHERCHIERTE GEBIETE</b> Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole ) IPK 7 H01L C30B C23C		
Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)		
<b>C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN</b>		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	EP 0 538 874 A (F T L CO LTD) 28. April 1993 (1993-04-28) das ganze Dokument ---	1-7
Y	P. C. PAREKH AND D. R. GOLDSTEIN: "The Influence of Reaction Kinetics Between BBr <sub>3</sub> and O <sub>2</sub> on the Uniformity of Base Diffusion" PROCEEDING OF THE IEEE, Bd. 57, Nr. 9, September 1969 (1969-09), Seiten 1507-1512, XP000892051 USA in der Anmeldung erwähnt Seite 1, Absatz 1 -Seite 4, Absatz 1 --- -/-	1-7
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen		<input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist		
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts	
22. Mai 2000	30/05/2000	
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter  Hamdani, F	

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

## Information on patent family members

Inte. Jonal Application No  
PCT/DE 99/04035

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
EP 0538874 A	28-04-1993	JP	6089867 A	29-03-1994
		DE	69228787 D	06-05-1999
		JP	7245298 A	19-09-1995
		KR	9700193 B	06-01-1997
		US	5445676 A	29-08-1995
		US	5387557 A	07-02-1995
US 5217560 A	08-06-1993	JP	4264715 A	21-09-1992
		KR	167571 B	01-02-1999
EP 0438677 A	31-07-1991	JP	2928930 B	03-08-1999
		JP	3178126 A	02-08-1991
		CA	2031418 A	07-06-1991
		KR	166587 B	01-02-1999
		US	5199994 A	06-04-1993
EP 0736614 A	09-10-1996	JP	9017739 A	17-01-1997
		JP	8330245 A	13-12-1996

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/DE 99/04035

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

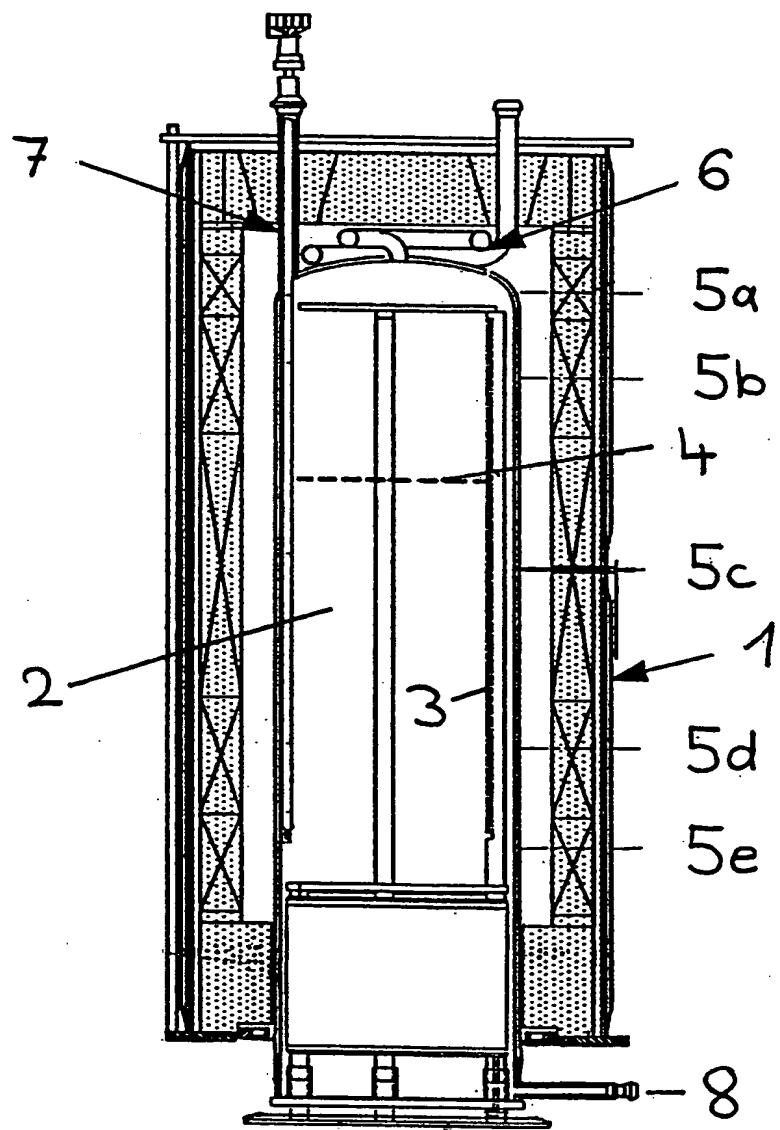
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 217 560 A (KURONO YOICHI ET AL) 8 June 1993 (1993-06-08) claims; figures 1,5 column 2, line 6 - line 51 -----	1-5
A	EP 0 438 677 A (SEIKO INSTR INC) 31 July 1991 (1991-07-31) abstract; figures 1,3 column 3, line 28 -column 6, line 57 -----	1,2,5-7
A	EP 0 736 614 A (F T L CO LTD) 9 October 1996 (1996-10-09) figures 1-10 column 8, line 33 -column 10, line 39 -----	1-5

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/DE 99/04035

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC 7 H01L21/00 C30B31/06 C23C16/46		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 H01L C30B C23C		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 0 538 874 A (F T L CO LTD) 28 April 1993 (1993-04-28) the whole document ----- P. C. PAREKH AND D. R. GOLDSTEIN: "The Influence of Reaction Kinetics Between BBr <sub>3</sub> and O <sub>2</sub> on the Uniformity of Base Diffusion" PROCEEDING OF THE IEEE, vol. 57, no. 9, September 1969 (1969-09), pages 1507-1512, XP000892051 USA cited in the application page 1, paragraph 1 -page 4, paragraph 1 ----- -/-	1-7
Y		1-7
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents :  "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority, claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		
*T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. *&* document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search  22 May 2000		Date of mailing of the international search report  30/05/2000
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 851 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer  Hamdani, F

1 / 1



Figur

- 17 -

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass sich das borhaltige Reaktivgas aus Sauerstoff und  
BBr<sub>3</sub> zusammensetzt, das mit Stickstoff als Transportgas  
5 in den Reaktionsraum (2) geleitet wird, wobei bei einem  
Volumen des Reaktionsraumes (2) von 45 bis 55 Liter ein  
Gasfluss von 10 slm ± 0,5 slm für das Transportgas, von  
0,1 slm ± 0,01 slm für den Sauerstoff und von 0,1 slm ±  
0,01 slm für das BBr<sub>3</sub> eingestellt wird.

10

Docket # P2001,0263

Applic. # \_\_\_\_\_

Applicant: HENRY BERNHARDT ET AL.

Lerner and Greenberg, P.A.  
Post Office Box 2480  
Hollywood, FL 33022-2480  
Tel: (954) 925-1100 Fax: (954) 925-1101